

PROPERTI MATERIAL DAN DAKTILITAS BETON PRATEKAN PARSIAL HASIL UJI EKSPERIMENTAL

Made D. Astawa¹, I.G.P. Raka² dan Tavio³

¹Mahasiswa S₂ Teknik Sipil (struktur), FTSP-ITS & Dosen Prodi Teknik Sipil-FTSP, UPN "Veteran" Jawa Timur

Email : masdawa@yahoo.com

² Profesor pada Prodi Teknik Sipil, FTSP-ITS Surabaya, 60111

Email: raka@ceits.ac.id

Email : tavio@its.ac.id

ABSTRAK

Beton dan baja tulangan adalah material dasar dari Struktur Beton Bertulang atau Beton Pratekan. Pada penelitian ini akan menyajikan hasil penelitian Properti Material dan Daktilitas dari Elemen Struktur Balok Beton Pratekan Parsial Dalam desain, material property terdiri dari material Beton dengan kuat tekan $f_c' \approx 40$ MPa, baja Strand Tendon type Freyssinet dengan tegangan leleh $f_{py} = 1030$ MPa, diameter Strand 12,7 mm, tulangan utama Kolom D16 & D13, $f_y = 400$ MPa, tulangan Transversal Kolom $\varnothing 10$ dengan $f_y = 240$ MPa, tulangan utama Balok D13, $f_y = 400$ MPa, dengan tulangan Transversal $\varnothing 8$, $f_y = 240$ MPa.

Uji laboratorium menunjukkan hasil baik, setelah melakukan mix design beton menghasilkan kuat tekan benda uji silinder rata-rata $f_c' = 41$ MPa, uji Tarik baja masing-masing menghasilkan rata-rata tegangan leleh dan regangan leleh : Strand Tendon; $f_{py} = 1793,437$ MPa, $\epsilon_y = 8,83$ %, baja tulangan D16; $f_y = 541,13$ MPa, $\epsilon_y = 17,33$ %, baja tulangan D13; $f_y = 593,85$ MPa, $\epsilon_y = 16,20$ %, tulangan transversal $\varnothing 10$; $f_y = 314,31$ MPa, $\epsilon_y = 22,34$ %, tulangan transversal $\varnothing 8$; $f_y = 310,59$ MPa, $\epsilon_y = 12,02$ %. Daktilitas tekan balok $\mu_{tek} = 4,65 > 4,0$, Daktilitas Tarik $\mu_{tarik} = 4,66 > 4,0$. Sesuai ketentuan ACI 374.1-05, NEHRP 1997 dan UBC 1997, Daktilitas $> 4,0$ untuk Struktur Rangka Gedung Tahan Gempa telah memenuhi syarat Daktilitas.

Kata kunci : Daktilitas, Kuat Tekan, Regangan leleh, Tegangan leleh.

1. PENDAHULUAN

Beton dan baja tulangan adalah material dasar dari Struktur Beton Bertulang atau Beton Pratekan. Oleh karena itu, perilaku properti baik material beton maupun baja tulangan perlu diuji sesuai ketentuan, dan pada saat uji specimen utama, hasil uji daktilitas sangat penting, terutama untuk model struktur rangka gedung tahan gempa. Dari hasil investigasi keruntuhan gedung-gedung pasca gempa di daerah-daerah yang pernah dilanda bencana gempa akhir-akhir ini, sebagian besar terjadi karena kegagalan desain elemen struktur Hubungan Balok-Kolom. Kurang memperhatikan prinsip desain Kolom kuat-Balok lemah, yaitu kurangnya perkuatan tulangan transversal pada kolom tepat dipertemuan Joint Balok-Kolom (JBK), dan tulangan utama pada tumpuan balok yang sangat rapat mengakibatkan kurang sempurnanya hasil concreting di daerah joint, menjadi faktor dominan kegagalan JBK. Agar perlemahan yang terjadi tidak dikolom, tetapi berpindah pada ujung balok ditepi kolom, dan kropos beton pada joint akibat rapatnya tulangan tumpuan balok dapat direduksi, maka dibuat model elemen Struktur Joint Balok Beton Pratekan Parsial dengan Kolom Beton Bertulang Interior (JBK Interior) yang daktil sebagai penahan Gempa, dengan harapan tendon dapat sebagai pengganti sebagai tulangan untuk mengurangi penumpukan tulangan pada joint. Khusus pada makalah ini akan disajikan perilaku property dan daktilitas struktur hasil uji specimen di laboratorium.

2. SIGNIFIKANSI PENELITIAN

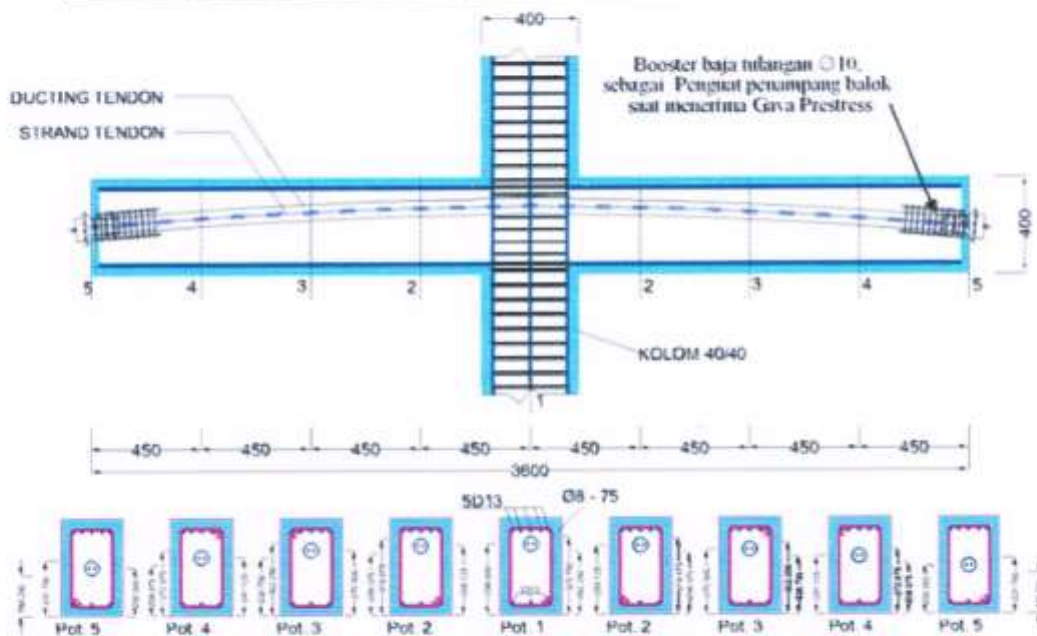
Desain model Joint Balok-Kolom dengan elemen Balok Beton Prategang Parsial-Kolom Beton Bertulang Interior. Penampang balok 250/400 mm dengan tulangan Tarik atas BJTD 5D13, tulangan tekan bawah 3D13, tulangan sengkang $\varnothing 8-75$ mm, menggunakan 1 tendon dengan 2 strand D12,7 mm, dipasang berbentuk lengkung parabola dengan puncak dipusat joint dan pada ujung balok posisi tepat digaris netral, sehingga terbentuk kerjasama antara strand tendon dan baja tulangan dalam memikul beban lentur maupun beban lateral. Penampang kolom persegi dengan dimensi penampang 400/400 mm, tulangan utama 6 D16 + 4 D13, sengkang $\varnothing 10-50$ mm, Fokus penelitian akan menyajikan hasil test properti dan tingkat daktilitas dari specimen.

3. JOINT BALOK-KOLOM INTERIOR

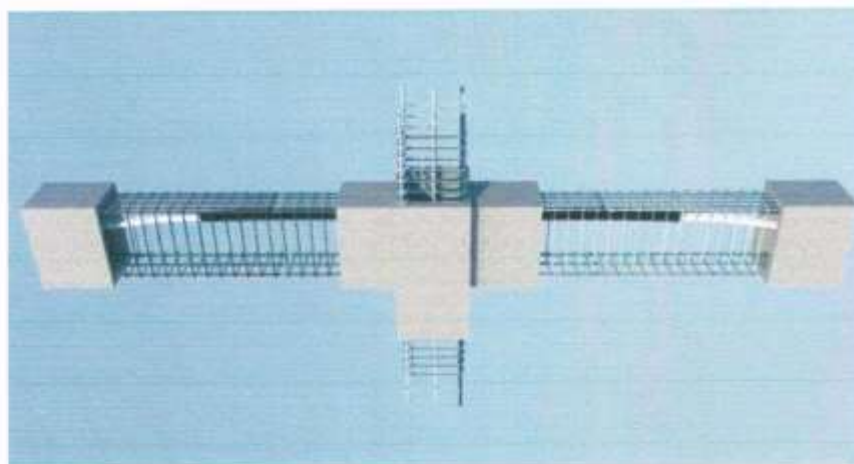
Desain daerah Tendon (cgs) adalah berupa Lengkung Parabola dengan puncak lengkung ada pada as kolom, dan secara smooth pada ujung balok berada tepat di titik berat penampang balok (cgc). Rumus Lengkung Parabola adalah : $y = \frac{4f \cdot x(L-x)}{L^2}$; f pada puncak di as kolom = $400-35-8-13-50=294$ mm. Bila dihitung dari pusat titik berat penampang balok (cgc) : $f = 294-200=94$ mm, bentang total = 3600 mm dan tinggi kolom = 3000 mm. Perubahan lengkung parabola ditinjau pada setiap 450 mm, maka focus pada setiap potongan dapat dihitung dan hasilnya ditabelkan seperti table berikut, karena symetris maka yang ditabelkan hanya satu sayap saja. Untuk desain Ø ducting Tendon = 2,50" = 63,5 mm.

Tabel : 1. Fokus dan daerah Limit Tendon pada setiap titik yang ditinjau.

DAERAH	LENGAN BALOK = 1800 mm				
	Puncak	450	900	1350	1800
Fokus = e dari cgc (mm)	94	88,125	70,50	41,125	0,00
Dari serat bawah Balok(mm)	294	288,125	270,50	241,125	200
Titik Kabel	Batas atas	325,75	319,875	302,25	272,875
	Batas Bawah	262,25	256,375	238,75	209,375



Gambar 1. Rencana daerah lengkung parabola tendon



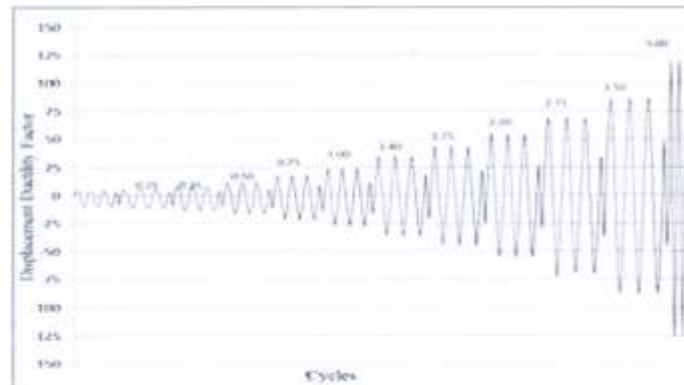
Gambar 2. Tampak 3 D rencana joint specimen interior

4. RENCANA BEBAN

Untuk test tekan benda uji silinder beton dibebani sampai specimen hancur, demikian juga untuk uji Tarik strand dan baja tulangan sampai specimen putus.

Beban Lateral untuk specimen utama direncanakan beban Siklik, besarnya beban ditentukan oleh Drift Ratio mulai dari 0,00 % sampai 3,50 % dan dicoba diteruskan sampai 4,5 % meskipun ketentuan NEHRP maupun ACI menentukan Drift Ratio yang mencapai 3,50 % ini sudah cukup untuk mengevaluasi Struktur memenuhi syarat daktil.

Beban aksial vertikal kolom, beban Statik sebagai stabilitas Struktur. Beban aksial sebesar 10 % kapasitas beban Kolom = 10 % (6400)kN = 640 kN. Kerja beban siklik mulai dari siklus 0% samapi 5,0 % pada Struktur, gambar diagram beban adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik Diagram Beban Siklik

5. SAMPEL BENDA UJI DAN TEST-SET UP

Sampel Benda Uji Beton Silinder,

Benda uji beton silinder dibuat sebanyak 12 buah benda uji ukuran \varnothing 150 mm, tinggi 300 mm, dengan kuat rencana $f_c' \cong 40$ MPa, seperti gambar 4 berikut.



Gambar 4. Sampel Beton Silinder

Test Set up

Aplikasi test set up untuk spesimen pendahuluan terdiri dari test tekan beton silinder pada gambar 6, test tarik baja tulangan dan strand pada gambar 7, dan untuk spesimen utama JBK dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 6. Test set up beton silinder



Gambar 8. Test set up Spesimen utama

6. DATA HASIL UJI SPESIMEN

Data-data hasil uji laboratorium disajikan sebagai berikut :

Data hasil Uji Kuat Tekan Beton Silinder

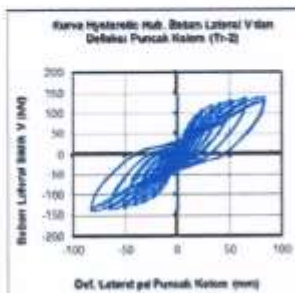
Yang diambil hanya data pada pengujian umur beton 28 hari sebagai berikut.

Tabel : 2. Hasil uji Kuat Tekan Beton Silinder Ø 15 cm, tinggi 30 cm.

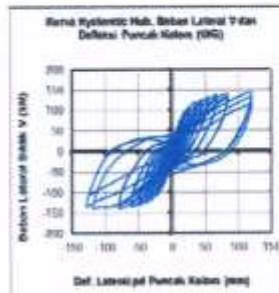
Benda uji Silinder Ø15 cm, tinggi 30 cm	Berat Benda uji (N)	Beban Tekan (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan umur 28 hari (fc', Mpa)	Kuat Tekan rata-rata (Mpa)
Benda uji 1	119,13	730.000	17678,57	41,29	41,01
Benda uji 2	118,86	715.000	17678,57	40,44	
Benda uji 3	118,24	730.000	17678,57	41,29	

Data hasil Pembebanan Siklik Lateral

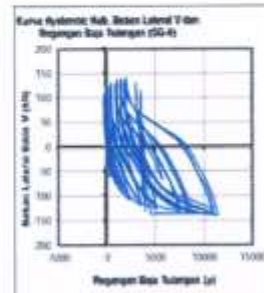
Data kurva Hysteritik hasil Test, beberapa sensor dipasang pada titik-titik yang penting, antara lain ; Linear Variable Displacement Transducer(LVDT) pada gambar 9, Wire-gauge (WG) pada gambar 10 dan Strain-gauge (SG) pada gambar 11.. Data hasil masing-masing pada setiap titik berupa grafik akan disajikan secara berurutan.



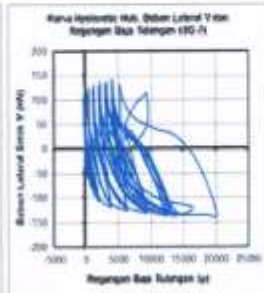
Gambar : 9. Kurva Hysteritik LVDT pada Puncak Kolom JBK



Gambar : 10. Kurva Hysteritik WG pada Puncak Kolom JBK



Gambar : 11. Kurva Hysteritik SG Tulangan pada JOINT JBK



7. ANALISA HASIL UJI EKSPERIMENTAL

Analisa hasil Uji Kuat Tekan dan Tarik Beton

Modul Property :

Pada modul property, karakteristik elastis maupun inelastis material beton Balok dan Kolom didefinisikan.

Dalam model ini parameter yang akan didefinisikan adalah sebagai berikut :

a. Density :

Density merupakan berat jenis dari masing-masing bagian model. Dalam model ini Balok dan Kolom merupakan material beton dengan mutu yang sama yaitu beton mutu normal dengan density $24 \text{ kN/m}^3 = 0,024 \text{ N/mm}^3$.

b. Elastic :

Properti elastic yang akan didefinisikan pada model ini adalah nilai modulus elastistas (E) dan poisson rasio (ν). Kuat tekan beton (f_c') untuk Balok maupun Kolom adalah 41 MPa, sesuai hasil test Kuat Tekan dilaboratorium dapat dibaca pada Tabel : 5. Dengan demikian nilai modulus elastisitas (E) dapat dihitung sebagai berikut:

Modulus Elastisitas Beton (E_c) dengan $f_c' = 41$ MPa : $E_c = 4700\sqrt{f_c'}$

$$E_c = 4700\sqrt{41} = 30094,68 \text{ MPa}$$

Nilai Poisson Rasio beton adalah 0.15-0.20 (Park dan Paulay, 1974). Dalam pemodelan ini nilai (ν) beton diambil 0.2. Nilai Modulus Elastisitas dan Poisson Rasio beton ditabelkan sebagai berikut :

Tabel : 5. Data Elastis material Beton Spesimen Joint Balok-Kolom.

SPESEMEN	MODULUS ELASTISITAS (E) (N/mm ²)	POISSON RASIO (ν)
JBK INTERIOR	30094,68	0,20
JBK EXTERIOR	30094,68	0,20

Properti material elastik beton Spesimen ini akan di input kedalam program soft-ware *Abaqus*.

c. Concrete Damaged Plasticity.

Parameter yang perlu dimasukkan ke dalam model Abaqus selain parameter elastic, adalah properti material inelastik. Dalam model ini property inelastik yang dimasukkan adalah *concrete damaged plasticity*. Properti ini terdiri dari tiga bagian, yaitu *plasticity*, *Compressive Behavior*, dan *Tensile behavior*.

• Plasticity :

Input *plasticity* terdiri dari beberapa parameter seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6. (Kmieciek 2011 dalam Amalia 2013)

Tabel : 6. Plasticity Material Beton Spesimen JBK.

Dilation Angle	Eccentricity	F_0/f_c'	K	Viscosity Parameter
15	0,10	1,16	0,6667	0,01

Eccentricity : Flow Potential Eccentricity

F_0/f_c' : Biaxial/uniaxial compression plastic strain ratio

K : Deviatoric stress invariant ratio

Data pada Tabel 4.2 dimasukkan ke dalam Abaqus_ seperti ditunjukkan pada

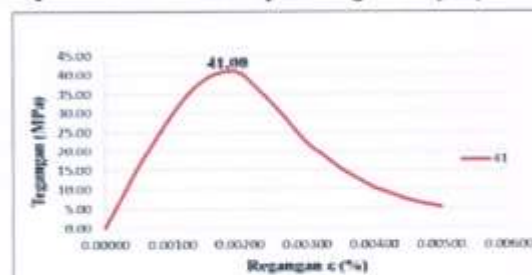
• Compressive Behavior :

Data *input* yang perlu dimasukkan ke Abaqus terkait perilaku inelastic *compressive behavior* adalah tegangan-regangan plastis beton akibat beban tekan. Berdasarkan penjelasan R8.5 ACI 318-11, tegangan inelastis beton terjadi setelah $0.45.f_c'$ dari kondisi elastis seperti ditunjukkan pada Tabel 7 berikut :

Tabel : 7. Tegangan Inelastic Beton Spesimen JBK.

SPESEMEN	f_c' (N/mm ²)	$0.45.f_c'$ (N/mm ²)
JBK INTERIOR	41,00	18,45
JBK EXTERIOR	41,00	18,45

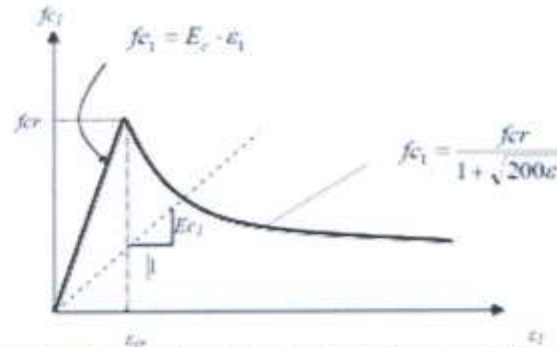
Kurva tegangan-regangan beton didapatkan dengan melakukan regresi terhadap kurva hubungan tegangan-regangan hasil penelitian. Seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Diagram tegangan-regangan beton 28 MPa hingga 83 MPa merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh United States Department of Transportation – Federal Highway Administration (FHWA, 2006). Mutu beton *Spesimen JBK* $f_c' = 41$ MPa. Untuk mendapatkan data tegangan-regangan $f_c' = 41$ MPa dilakukan perhitungan sampai pada tegangan maksimum $f_c' = 41$ MPa.



Gambar : 12. Curva hubungan Tegangan-regangan Tekan Beto

• Tensile Behavior :

Melakukan input data perilaku inelastik material akibat beban tarik (*tensile behavior*) ke dalam *plasticity property*. Menginput data tegangan-regangan beton akibat beban tarik. Grafik tegangan-regangan akibat beban tarik yang digunakan sebagai acuan adalah pemodelan yang dilakukan oleh Vecchio (1989) seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



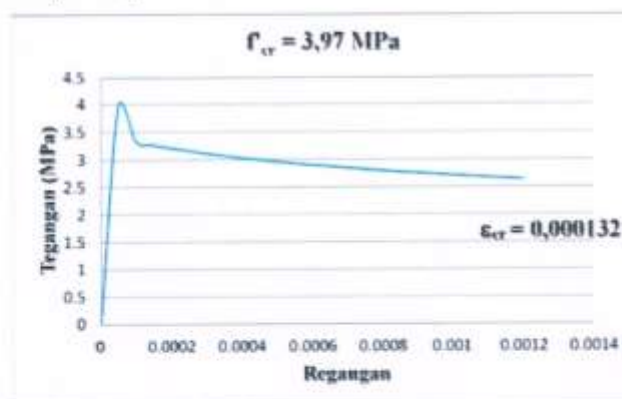
Gambar 13. Tegangan-regangan beton akibat beban Tarik (Vecchio, 1989)

Mutu beton Spesimen JBK sebesar $f'_c = 41$ MPa dengan modulus elastisitas $E = 30094,68$. Berdasarkan rumus ACI 318M-11 Pasal 9.5.2.3 tegangan dan regangan retak dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$f_{cr} = 0,62\lambda\sqrt{f'_c} = 0,62\sqrt{41} = 3,97$$

$$\epsilon_{cr} = \frac{f_{cr}}{E_c} = \frac{3,97}{30094,68} = 0,000132$$

Dengan menggunakan grafik usulan Vecchio (1989) maka dapat digambarkan grafik tegangan regangan beton Spesimen JBK seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 4.8. Grafik Tegangan-regangan Tarik beton Spesimen JBK

Analisa Daktilitas

a. Pada Drift Rasio 3,50 % Siklus ke – 3 kondisi batas leleh.

Saat bekerja gaya siklik tekan : $\delta y = 83,94$ mm

Kondisi stabil pada Drift Rasio 0,75% Siklus ke-1, $\delta i = 18,04$ mm.

Tingkat Daktilitas $\mu = \delta y / \delta i \geq 4,0$

$$\mu = 83,94 / 18,04 = 4,65 > 4,0 \dots (\text{OK})$$

Saat bekerja gaya siklik tarik : $\delta y = 83,68$ mm

Kondisi stabil pada Drift Rasio 0,75% Siklus ke-1, $\delta i = 17,96$ mm.

Tingkat Daktilitas $\mu = \delta y / \delta i \geq 4,0$

$$\mu = 83,68 / 17,96 = 4,66 > 4,0 \dots (\text{OK})$$

b. Pada Drift Rasio 4,50 % Siklus ke – 1 kondisi inelastic (Tulangan tekan putus):

Saat bekerja gaya siklik tekan : $\delta y = 119,68$ mm

Kondisi stabil pada Drift Rasio 0,75% Siklus ke-1, $\delta i = 18,04$ mm.

Tingkat Daktilitas $\mu = \delta y / \delta i \geq 4,0$

$$\mu = 119,68/18,04 = 6,63 > 4,0 \dots (\text{OK})$$

Saat bekerja gaya siklik tarik : $\delta y = 120,58 \text{ mm}$.

Kondisi stabil pada Drift Rasio 0,75% Siklus ke-1, $\delta i = 17,96 \text{ mm}$.

Tingkat Daktilitas $\mu = \delta y / \delta i \geq 4,0$

$$\mu = 120,58/17,96 = 6,71 > 4,0 \dots (\text{OK})$$

8. KESIMPULAN

Properti Material Beton :

- Kuat tekan hasil test tekan dilaboratorium rata-rata sebesar $f_c' = 41,01 \text{ Mpa} > 40 \text{ Mpa}$, memenuhi syarat
- Hubungan tegangan – regangan baik, dimana pada $f_c' = 41 \text{ Mpa}$, regangan $\varepsilon = 0,005 > 0,003$, memenuhi syarat.
- Kuat tarik beton maksimum mencapai $3,97 \text{ Mpa} = 9,70 \% \cong 10,0 \% \text{ kuat tekan}$, memenuhi syarat.

Daktilitas :

- Pada drift ratio 3,5 %, akibat beban siklik lateral tekan, $\mu = 4,65 > 4,0$, memenuhi syarat, akibat beban siklik lateral tarik, $\mu = 4,66 > 4,0$, memenuhi syarat.
- Pada drift ratio 4,5 %, akibat beban siklik lateral tekan, $\mu = 6,63 > 4,0$, memenuhi syarat, akibat beban siklik lateral tarik, $\mu = 6,71 > 4,0$, memenuhi syarat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih dan penghargaan yang tinggi-tingginya kami sampaikan kepada Promotor Utama, Prof. Dr.Ir. IGP Raka, DEA, Co Promotor Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D, PT. Wijaya Karya Beton, PT. Freyssnet Indonesia, LPPM-ITS, LPPM-UPN 'Vetran Jawa Timur' dan semua pihak yang telah membantu riset kami hingga berhasil dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Referensi buku

- American Concrete Institut(ACI 318M-08) , 2008 *"Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary"* First Printing June 2008.
- Elnashai. A.S & Dowling P.J, 2001 *"Design of Modern Higrise Reinforced Concrete Structures"*, Imperial College Press 57 Shelton Street Covent Garden London WC2H 9HE
- Key David, 1988 *"Earthquake Design Practice for Buildings"*, Thomas Telford, London.
- Lin T. Y, Burns Ned. H, Indrawan Daniel, 1996 *"Prestressed Concrete Structures Design Volume 1"*, Erlangga Jakarta.
- Lin T. Y, Burn Ned. H, Mediana, 2000 *"Prestressed Concrete Structures Design Volume 2"*, Erlangga Jakarta.
- Nilson Arthur H, 1987 *" Design of Prestressed Concrete"*, John Wiley & Sons, Inc, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Park R and Paulay T, 1975 *"Reinforced Concrete Structures"*, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- SNI 03-1726-2002, *"Earthquake Resistant of Buildings Structure"*, Badan Standardisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- SNI 03-2847-2002, *"Procedure for Calculation of Concrete Structures for Buildings"*, Concrete Laboratory ITS Surabaya

Referensi Journal dan Paper Seminar

- Astawa, Raka, Tavio, 2011, "Elemen Struktur Hubungan Balok Beton Pratekan Parsial-Kolom Beton Bertulang Tahan Gempa yang Handal dan Daktil pada SRPMK", *1st Indonesian Structural Engineering and Material Simposium, Department of Civil Engineering-Parahyangan Catholic University-Bandung*.
- Astawa, Raka, Tavio, 2011 "Element Structure Model, Partial Prestressed Concrete Beam-Column Reinforced Concrete Connecting in the Story Building Framework of Earthquake Resistant", *2nd International Conference on Applied Technology, Science&Arts (APTECS) ITS Surabaya*.
- Astawa, Raka, Tavio, 2012 "Ductile Structure Framework of Earthquake Resistant of Highrise Building on Exterior Beam-Column Joint with the Partial Prestressed Concrete Beam-Column Reinforced Concrete", *Elsevier Procedia Engineering 54 (2013) 413 – 427*

4. Astawa, Raka, Tavio, 2013 "Shear Behavior of Joint Partial Prestressed Concrete Beam-Column Reinforced Concrete of Ductile Frame Structure Building in a Scure Residents and for Settlement Environment", *4th International Conference on Applied Technology, Science & Arts (APTECS) ITS Surabaya*.
5. Astawa, Tavio, Raka, 2014, "Behavior of Partially-Prestressed Concrete Exterior Beam-Column Joints for Highly-Seismic Zones", *The 6th International Conference of Asian Concrete Federation-Seoul, Korea*.
6. Fanella David A, Munshi Javeed. A, 1998 "Design of Concrete Buildings for Earthquake and Wind Forces", *Portland Cement Association*.
7. Ghosh S. K, May-June 1999 "Impact of Earthquake Design Provisions of International Building Code", *PCI Journal*.
8. NEHRP, 1997 "Proposed Revision to Recommended Provisions for Seismic Regulation for Precast Concrete Structure"
9. Raka, Tavio, Astawa, 2014, "State-of-the-Art Report on Partially-Prestressed Concrete Earthquake-Resistant Building Structures for Highly-Seismic Region" *Elsevier Procedia Engineering 00 (2014) 000-000*
10. Thompson Kevin J, Park Robert, March-April 1980, "Ductility of Prestressed and Partially Prestressed Concrete Beam Section", *PCI Journal*.
11. Tavio & Teng S. 2004, "Effective Torsional Rigidity of Reinforced Concrete Members", *ACI Structural Journal*, 101(2), 2004, 252-260.
12. Kashiwazaki Takashi, Hoguchi Hiroshi, 2000 "Structural Performances of Prestressed Concrete Interior Beam-Column Joints", *Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2342, Auckland-New Zealand, ISBN: 0-9582154-0-5*.
13. Nakano K, Tanabe K, Machida S, & wada S, 2001 "Damage Controlled Seismic Design by Precast-Prestressed Concrete Structure with Mild-Press-Joint, Part 1", *Basic Concept of Design, AIJ Summeries of Technical Papers of Annual Meeting, Japan*.
14. Tavio, Suprobo P. & Kusuma B. 2008, "Strength and Ductility Enhancement of Reinforced HSC Columns Confined with High-Strength Transverse Steel", *Proceedings of the Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-11), Taipei, Taiwan*.
15. Tavio, 2008 "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (ACI 318R-08)", *Discussion and Closure, Concrete International, American Concrete Institute (ACI), 30(4), 1-171*.